

CI

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-230244

(P2001-230244A)

(43) 公開日 平成13年8月24日 (2001.8.24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テ-リ-ト*(参考)
H01L 21/312		H01L 21/312	A 4G075
B01J 19/08		B01J 19/08	H 4J032
C08G 61/02		C08G 61/02	5F033
H01L 21/768		H01L 21/90	S 5F058

審査請求 有 請求項の数14 OL (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-42209(P2000-42209)

(22) 出願日 平成12年2月21日 (2000.2.21)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 川原 潤

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 多田 宗弘

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100096253

弁理士 尾身 祐助

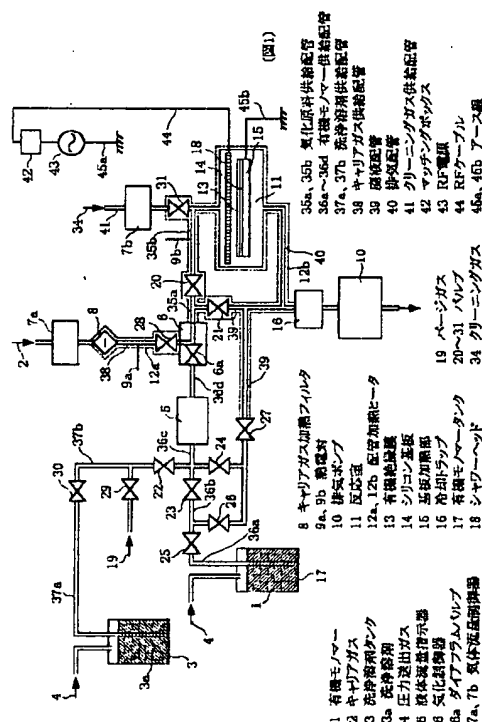
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 絶縁膜の形成方法および多層配線

(57) 【要約】

【課題】 半導体基板上の低誘電率高分子膜の形成において、高耐熱性とCMP耐性を有する配線層間絶縁膜を効率良く成長させる製造方法を提供する。

【解決手段】 ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン・モノマーを気化制御器6にて気化し、反応室11に導入し0.2W/cm²以下の低パワープラズマ中にて350℃以上に加熱された基板14上にプラズマ重合ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテンを成長させて高耐熱性を有するベンゾシクロブテン膜を効率よく成膜できるようにする。また、成長初期には低成長圧力として相対的に誘電率の小さいプラズマ重合ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン膜を成長させ、その後成長圧力を増加させて緻密なプラズマ重合ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン膜を連続的に成長させることで膜表面の機械強度を増強してCMP耐性を確保する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 気化したベンゾシクロブテン・モノマーを反応室内に導入し、プラズマ雰囲気中にて、加熱ステージ上に載置された基板上に前記ベンゾシクロブテン・モノマーを骨格に含むプラズマ重合高分子膜を成膜する工程を含む絶縁膜の形成方法において、前記加熱ステージは350℃以上に加熱されていることを特徴とする絶縁膜の形成方法。

【請求項2】 プラズマを生成するために印加される高周波パワーが0.20W/cm²以下であることを特徴とする請求項1記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項3】 前記ベンゾシクロブテン・モノマーがシャワーヘッドを介して前記反応室へ導入され、前記高周波パワーが前記シャワーヘッドに印加されることを特徴とする請求項2記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項4】 プラズマを生成するために印加される高周波電圧が、2周波の重畳されものであることを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項5】 気化した有機モノマーを反応室内に導入し、プラズマ雰囲気中にて、加熱ステージ上に載置された基板上に前記有機モノマーを骨格に含むプラズマ重合高分子膜を成膜する工程を含む絶縁膜の形成方法において、前記反応室内の成膜ガスの圧力を段階的に若しくは連続的に高くして、成膜される絶縁膜の基本的化学組成を変化させることなく物理的特性を変化させることを特徴とする絶縁膜の形成方法。

【請求項6】 前記加熱ステージは350℃以上に加熱されていることを特徴とする請求項5記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項7】 前記ベンゾシクロブテン・モノマーまたは前記有機モノマーが、ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン・モノマーであることを特徴とする請求項1～6の何れかに記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項8】 前記プラズマ重合高分子膜を成膜する工程に続けて無機絶縁膜の成膜する工程が付加され、両成膜工程間において真空状態が維持されることを特徴とする請求項1～7の何れかに記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項9】 前記プラズマ重合高分子膜を成膜する工程に先立って無機絶縁膜を成膜する工程が付加され、両成膜工程間において真空状態が維持されることを特徴とする請求項1～8の何れかに記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項10】 前記無機絶縁膜の成膜工程に続けてさらにプラズマ重合高分子膜を成膜する工程が付加され、以下、必要に応じて無機絶縁膜の成膜工程とプラズマ重合高分子膜の成膜工程が繰り返され、かつ、各成膜工程間において真空状態が維持されることを特徴とする請求項8記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項11】 前記無機絶縁膜の成膜する工程での基板温度が前記プラズマ重合高分子膜を成膜する工程での基板温度以下であることを特徴とする請求項8～10の

何れかに記載の絶縁膜の形成方法。

【請求項12】 導電性プラグが埋設された層間絶縁膜と、配線が埋設された配線間絶縁膜とが積層されている多層配線において、前記層間絶縁膜および前記配線間絶縁膜の内の少なくとも一つの絶縁膜は、化学組成が実質的に同一で最下層部より最上層部の方が密度が高くかつ密度が段階的若しくは連続的に高くなされているプラズマ重合高分子膜を含んでいることを特徴とする多層配線。

【請求項13】 前記層間絶縁膜または前記配線間絶縁膜は、前記プラズマ重合高分子膜の上層または下層に薄膜の無機絶縁膜を有していることを特徴とする請求項12記載の多層配線。

【請求項14】 前記プラズマ重合高分子膜がプラズマ重合ベンゾシクロブテン膜であることを特徴とする請求項12または13記載の多層配線。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路の多層配線間を絶縁する絶縁膜に有用な絶縁膜の形成方法およびこの絶縁膜を用いた多層配線に関し、特にプラズマ重合ベンゾシクロブテンポリマーなどのプラズマ重合有機高分子膜を含む絶縁膜の形成方法とこの絶縁膜を用いた多層配線に関するものである。

【0002】

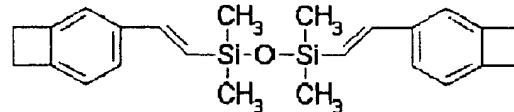
【従来の技術】半導体集積回路のデザインルールは不断に縮小を続けており、それに伴い配線信号遅延による性能の劣化が顕在化している。つまり、半導体集積回路の配線信号遅延は配線のCR時定数（C：配線容量、R：配線抵抗）によって決まるところ、配線幅の減小による配線抵抗の増大と配線間隔および層間膜厚の減少による配線間容量の増大により、配線のCR時定数が増大しつつある一方で、トランジスタサイズが縮小され素子の動作高速化が進められたことにより、配線遅延がトランジスタのスイッチング速度に追従できない状態が現実のものとなりつつある。現在、半導体集積回路の配線材料にはAl合金が主として使用されているが、配線の低抵抗化のためには銅配線や銀配線の方が有利である。一方、配線間容量を低減するために、現在のシリカ（SiO₂）系絶縁膜よりも誘電率の低い絶縁膜材料が検討されている。誘電率の低い絶縁膜としては、フッ素添加シリカ（SiOF）やポーラスシリカなどの無機絶縁膜と有機高分子膜（有機絶縁膜）が知られている。而して、フッ素添加シリカには膜中のフッ素と水分あるいは水素との反応によるフッ酸で配線金属の腐食の発生や、フッ素抜けによる誘電率の増大などの問題がある。一方、ポーラスシリカは比誘電率2以下が可能である点が期待されている。しかしながら、微小空孔の中への水分凝縮で比誘電率が増大したり、絶縁耐圧が低下したりする課題がある。

【0003】現在、半導体集積回路上の多層配線間を絶縁する層間絶縁膜／配線間絶縁膜として、耐熱性・耐吸湿性に優れた有機高分子膜の開発が急がれている。耐湿性には、有機モノマー中に親水基が含まれないことが肝要であり、またその有機高分子膜の骨格たる有機モノマーからの重合反応中に水の縮重合反応を経ないことが望ましいとされている。この種有機高分子膜の成長方法として、有機モノマーのスピンコーティング法と有機モノマーの蒸発法が知られている。ここで、有機モノマーとは、この有機モノマーを構成単位として重合反応が生じ、有機高分子（有機ポリマー）を形成するものを指す。第1の従来技術であるスピンコーティング法は、有機高分子膜の成長に広く用いられている方法である。この場合、有機モノマーは溶媒に溶解されており、成膜過

程では溶媒の除去と原料の加熱処理（ベーキング）によりモノマーの重合反応を生じさせる。この結果、2次元あるいは3次元の架橋構造を形成した高分子膜が形成される。生成物である有機絶縁膜を構成する骨格となるのは、有機溶剤に溶けていた有機モノマーの構造である。

【0004】

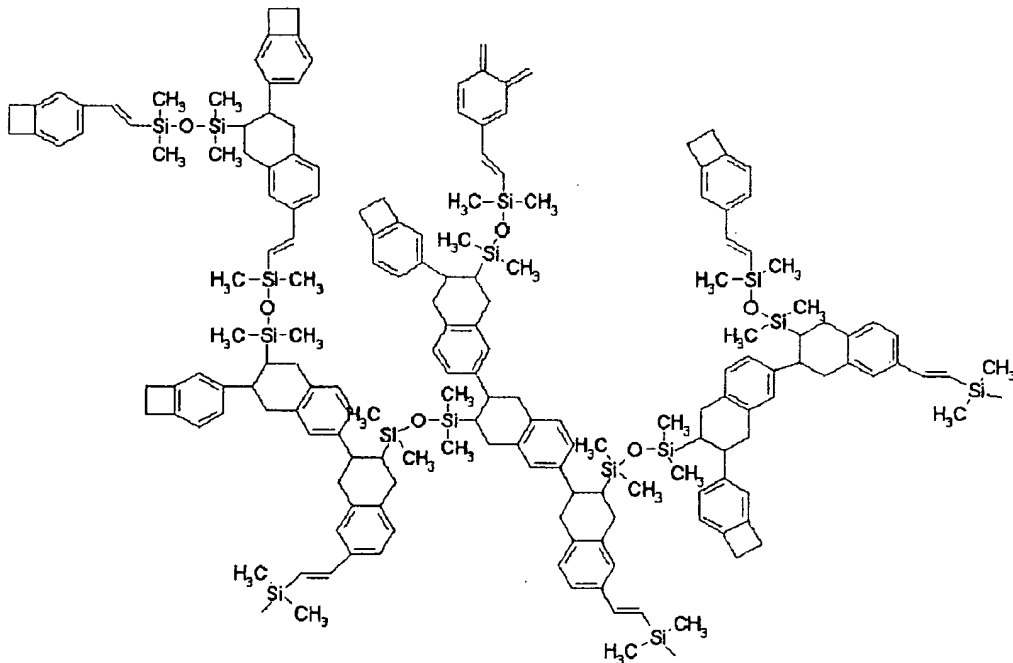
【化1】



10

【0005】

【化2】



【0006】例えば、T.M.Stokich, Jr., W.M.Lee, R. A.Peters: "REAL-TIME FT-IR STUDIES OF THE REACTION KINETICS FOR THE POLYMERIZATION OF DIVINYLSILOXANE BISBENZOCYCLOBUTENE MONOMERS" (Material Research Symposium Proceedings Vol.227 pp.103-114, 1991) に記載された方法では、化1に示すジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン・モノマーをメシチレンに溶解させた溶剤をスピン塗布した後、100℃でベーキングして溶媒であるメシチレンを除去する。その後、さらに300℃～350℃まで加熱するとベンゾシクロブテン中の炭素4員環の熱開環重合反応により、化2に示す、ジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン高分子膜が得られる。

【0007】第2の従来技術の例としては、特開平11-17006号公報により、有機モノマーを蒸発させて、気相中のモノマーを基板上で重合させて有機絶縁膜

を得る方法が提案されている。図13は、上記公報にて提案された、有機モノマーの直接気化による有機膜成長装置の概略構成図である。有機モノマー1を気化器85内に導入し、減圧下で加熱して液状有機モノマーを蒸発させ、気体化有機モノマー1aを発生させる。反応室81内は排気ポンプ80により、気化器85および原料配管86よりも減圧されており、気体化有機モノマー1aは原料配管86を通して反応室81に送られる。気体化有機モノマー1aは、基板加熱部84により加熱された半導体基板83の表面に吸着し、基板加熱部84から供給される熱エネルギーによって重合反応して架橋構造を形成し、有機高分子膜82を形成する。

【0008】また、図14は、有機高分子膜を用いて形成した従来のダマシン（damascene）構造の多層配線の断面図である。同図に示されるように、図外半導体基板上に形成された第1層間絶縁膜91上には、有機高分子からなる第1配線間絶縁膜92が形成され、該第1配線

50

間絶縁膜92に形成された配線溝内には、第1バリア膜93aを介して第1銅ダマシン配線93が形成されている。その上には第2層間絶縁膜94が形成され、該第2層間絶縁膜94に開孔されたビアホール内には第2バリア膜95aを介して銅ビアプラグ95が形成されている。さらに、その上には、有機高分子からなる第2配線間絶縁膜96が形成され、該第2配線間絶縁膜96に形成された配線溝内には、第3バリア膜97aを介して第2銅ダマシン配線97が形成されている。このようなダマシン構造の配線やビアプラグは、以下のようにして作製される。フォトリソグラフィ法を適用して絶縁膜に配線溝またはビアホールを開設しバリア膜と銅などの導電性材料を堆積した後、CMP（化学的機械研磨：chemical mechanical polishing）により、絶縁膜上の導電性膜を研磨・除去して、配線溝またはビアホール内に導電性材料を埋め込む。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の技術には、以下に述べる技術課題があった。まず、第1の従来技術であるスピンコーティング法の場合、有機モノマーを溶剤に溶かし、この溶剤をスピン塗布する。スピン塗布膜をベーク炉中で加熱して、まず溶剤を除去した後、さらに高温で加熱して有機モノマーの高分子化反応を生じさせて有機高分子膜を形成するわけであるが、溶剤の除去は溶液を塗布した半導体基板を加熱することにより行うため、溶液中から溶媒のみを脱離させることになる。したがって、塗布溶液中に溶媒が残留する可能性があり、その残留した溶媒が成膜後の熱処理時に脱離しその上層に形成された配線や絶縁膜を剥離させるなどして、結果として、信頼性、耐熱性を低下させる原因となる。また、スピン塗布法は、下地となる基板に対しモノマー溶液の濡れ性が悪い場合、あるいは成膜された膜とその下地となる半導体基板表面との密着性が悪い場合、密着強化剤と称する別の溶液を塗布する必要がある。密着強化剤においても溶媒を使用することが多く、熱処理時の溶媒の脱離が完全に行われない可能性は同様に存在し、さらには密着強化剤そのものが膜中において最も耐熱性の低い材料である場合があるため、形成される高分子膜の耐熱性を劣化させる原因となる。

【0010】また、第2の従来技術である有機モノマーの直接気化法では、有機モノマーは気相を保ったまま、キャリアガスと共に加熱された基板上に輸送される。この場合、有機モノマーがウエハ表面に吸着し、これらがウエハ表面に拡散して重合反応を起こして高分子膜が形成される。一般に、その重合度の低下に伴って、有機高分子膜の再気化温度（耐熱温度）は低下する。重合反応を促進するため基板温度を高温とすると、モノマーの吸着効率が著しく低下して有機高分子膜の成長速度が低下してしまう。成長基板温度を十分高くしておけば、少なくとも得られる有機高分子膜の耐熱温度はその成長基板

温度以上となることが期待されるところ、従来技術では、例えば上記特開平11-17006号公報に記載されているように、250℃程度と基板温度を十分に高く設定することができなかったため、耐熱性の高い有機高分子膜を得ることができなかった。

【0011】而して、図14に記載したように配線間に存在する高分子有機膜（第1、第2配線間絶縁膜）の比誘電率は低いほど配線間の寄生容量が小さくなる。一方、これらの配線間絶縁膜の表面にはバリア膜や銅膜が成膜され、その後のCMP工程でこれらの導電性膜は除去される。その際、CMPの応力で膜剥がれが生じないように特に下地膜（第1、第2配線間絶縁膜）には十分な機械強度と密着性が要求される。さらに、下地膜表面はバリア膜が除去された後、少なくともある期間直接研磨される。このCMP工程に耐える機械強度も必要となる。有機高分子膜を低誘電率化すると機械的強度が低下するため、低誘電率化と機械強度確保の両立は困難である。例えば、2種類のモノマーを用いて、化学組成の異なる、誘電率の低い膜と機械的強度の高い膜とを積層することにより低誘電率と機械的強度を兼ね備えた高分子膜を形成することもできるが、この場合気化器が複数台必要となり装置コストの増大を招く外成膜工程が複雑化する。

【0012】本発明の課題は、上述した従来技術の問題点を解決することによって、その目的は、第1に、十分な耐熱性を有する有機高分子膜を実用化可能な成膜速度にて形成できるようにすることであり、第2に、機械強度を確保しつつ実効的な比誘電率の低い有機高分子膜を効率よく形成しうるようにすることである。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明によれば、気化したベンゾシクロブテン・モノマーを反応室内に導入し、プラズマ雰囲気中にて、加熱ステージ上に載置された基板上に前記ベンゾシクロブテン・モノマーを骨格に含むプラズマ重合高分子膜を成膜する工程を含む絶縁膜の形成方法において、前記加熱ステージは350℃以上に加熱されていることを特徴とする絶縁膜の形成方法、が提供される。そして、好ましくは、0.2W/cm²以下の低パワープラズマ中にて成膜が行われる。

【0014】上記の目的を達成するため、もう一つの本発明によれば、気化した有機モノマーを反応室内に導入し、プラズマ雰囲気中にて、加熱ステージ上に載置された基板上に前記有機モノマーを骨格に含むプラズマ重合高分子膜を成膜する工程を含む絶縁膜の形成方法において、前記反応室内の成膜ガスの圧力を段階的に若しくは連続的に高くして、成膜される絶縁膜の化学組成を変化させることなく物理的特性を変化させることを特徴とする絶縁膜の形成方法、が提供される。

【0015】上記の目的を達成するため、さらにもう一

つの本発明によれば、導電性プラグが埋設された層間絶縁膜と、配線が埋設された配線間絶縁膜とが積層されている多層配線において、前記層間絶縁膜および前記配線間絶縁膜の内の少なくとも一方は、化学組成が同一で最下層部の誘電率より最上層部が誘電率の方が高かつ誘電率が段階的若しくは連続的に高くなされているプラズマ重合高分子膜を含んでいることを特徴とする多層配線、が提供される。

【0016】[作用]本発明によれば、気化させた有機モノマーを 0.2 W/cm^2 以下の低パワープラズマ中に導入することで、気相中で有機モノマーを部分重合化させて実効分子量を大きくして、 350°C 以上例えば 400°C に加熱された基板上であっても吸着効率をあげ、かつその再揮発効率を下げることで、 400°C 以上の耐熱性を有するプラズマ重合高分子膜を効率よく得ることができる。さらに、成長圧力を変化させるだけで、1種類の有機モノマーの気化ガスから相対的に誘電率の小さい第1のプラズマ重合高分子膜上に緻密な第2のプラズマ重合高分子膜を効率良く得ることができる。下地に位置する第1のプラズマ重合高分子膜は配線間寄生容量低減に有効であり、また表面層に位置する緻密な第2のプラズマ重合高分子膜は十分な機械的強度を有し、CMP工程での機械的なダメージが抑制される。

【0017】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について実施例に即して図面を参照して詳細に説明する。実施例として、有機モノマーとしてジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテンモノマー（分子量： 390 g/mol 、以下DVS-BCBモノマーないしBCBモノマーと記す）を用いたMVP（Monomer-Vapor Polymerization）法による有機高分子膜の成長方法を説明する。

【0018】[実施例1]図1は、本発明のプラズマ重合成長方法において用いられる高分子膜成膜装置の概略の構成図である。この成膜装置は、大略、有機モノマータンク17、液体流量指示器5、気化制御器6、キャリアガス加熱フィルタ8、気体流量制御器7a、7b、反応室11、配管加熱ヒータ12a、12b、冷却トラップ16、排気ポンプ10、洗浄溶剤タンク3から構成され、その他にキャリアガス2、クリーニングガス34、パージガス19および圧力送出ガス4を導入し排出する配管35~40とバルブ20~31が備えられている。ここで、有機モノマータンク17には有機モノマー1としてDVS-BCBモノマーが満たされ、また洗浄溶剤タンク3には、洗浄溶剤3aとしてメシチレンが貯えられる。また、キャリアガス2、パージガス19および圧力送出ガス4はいずれもヘリウム（He）である。クリーニングガス34は、 SF_6 と酸素あるいはオゾンの混合気体である。また CF_4 や C_2F_6 などのフロロカーボンガスと酸素あるいはオゾンの混合気体でもよい。

【0019】なお、本発明は、有機高分子膜の成長、と

くに耐熱性を向上させた高分子膜の製造方法に関するものである。その後の配管洗浄プロセスなどについては本明細書では言及しない。このため、以下に述べる実施例において作動しないバルブや配管が存在する。

【0020】図1の成膜装置を用いたプラズマ重合高分子膜の形成方法を説明するに当たって、まず、常温で液体の有機モノマーをキャリアガス供給により気化させる過程について説明する。本装置においては、気化制御器6としてダイレクトリキッドインジェクション方式を採用した。この気化制御器6では、気化制御器内に供給されるわずかな量の有機モノマーを加熱するだけで気化が行われることから熱効率がよく、特にBCBモノマーのように、飽和蒸気圧が低くかつ高温・長時間の加熱で容易に重合反応が生じるような有機モノマーを用いる場合には極めて好都合である。また、キャリアガス2としては、酸素および水を含有していないことが必須条件であるが、飽和蒸気圧が低くかつ温度に敏感な有機モノマーの場合は熱伝導率が高いことが望ましい。Heは最も適したものであるが、有機モノマーと反応しないArやN₂でもよい。

【0021】有機モノマーの安定気化領域は、キャリアガス2の供給速度の増加より拡大する一方、気化温度の上昇に伴って有機モノマーの重合速度は増大し、気化器内での重合反応が生じて気化を妨げる。すなわち、有機モノマーの気化速度と重合速度の相対関係で決まるわけであるが、有機モノマーの重合速度が気化速度の100分1以下であれば実用上問題はない。HeキャリアガスによるDVS-BCBモノマーの具体的な気化条件範囲は、全圧 2666.4 Pa （ 20 Torr ）以下に保たれた気化制御器内にキャリアガスを $100\text{ sccm} \sim 3000\text{ sccm}$ 供給し、毎分 $0.1\text{ g} \sim 0.01\text{ g}$ のDVS-BCBモノマーを気化制御器に供給して 100°C から 175°C の温度範囲で加熱することであり、本発明においてはこの条件下でこのモノマーを気化する。気化速度を非常に高速にできる場合、例えばモノマーをキャリアガスと混合した後にエアロゾル化して気化する場合には、気化器内部の温度はさらに高温、例えば 200°C とすることが可能である。

【0022】次に、図1に示す高分子膜成膜装置によるDVS-BCBモノマーの気化からジビニルシロキサン・ビス・ベンゾシクロブテン高分子（以下、DVS-BCB高分子と記す）膜成膜に至る一連のプロセスを説明する。まず、初期状態では、気化制御器内のダイアフラムバルブ6a、バルブ20、21、27を“開”とし、排気ポンプ10で、反応室11、排気配管40、廃液配管39、気化制御器6、液体流量指示器5、気化原料供給配管35a、35b、および有機モノマー供給配管36c、36dを真空引きする。また、配管加熱ヒータ12a、12bによりキャリアガス供給配管38および気化原料供給配管35a、35b、廃液配管39、排気配

管40を、有機モノマーの設定気化温度と同じかあるいは有機モノマーの重合反応が顕著（重合速度 $>1\%/分$ ）にならない範囲でわずかに高い温度に加熱する。例えば、DVS-BCBモノマーの気化温度を 150°C にした場合、配管加熱温度を 170°C とする。配管温度は、配管各所に設置された熱電対9a、9bによりモニターし、常に設定温度となるよう配管加熱ヒータ12a、12bを制御する。

【0023】次に、気化制御器内のダイアフラムバルブ6aとバルブ21を“閉”、バルブ28、20を“開”とし、キャリアガス供給配管38よりキャリアガス（He）2を気体流量制御器7aとキャリアガス加熱フィルタ8を介して気化制御器6に供給し、さらに気化原料供給配管35a、35bを介して反応室11に流し、排気配管40を介して排気ポンプ10で装置外に排気する。ここでは、気化制御器6を 150°C に加熱し、またキャリアガス加熱フィルタ8でHeガスを気化温度と同じ温度まで加熱する。気化制御器6に導入するHeガスを予め気化温度まで加熱しておくことで、温度低下による気化したDVS-BCBモノマーの再液化を防止する。ここで、キャリアガスの予備加熱温度も気化温度と同じにすることが原則ではあるが、有機モノマーの重合反応が顕著（重合速度 $>1\%/分$ ）とならない温度、例えばDVS-BCBモノマーでは 175°C 程度まで高くすることも可能である。ただし、この予備加熱温度も前記高分子膜成膜装置に用いているバルブの耐熱温度（ここでは、例えば 200°C ）を超えないように設定する必要がある。ここでは、DVS-BCBモノマーの気化温度 150°C の気化特性曲線より、Heキャリアガス流量 500 sccm とした。この条件の場合、気化制御器の全圧Pは、 933.3 Pa （ 7 Torr ）であり、反応室11は 266.6 Pa （ 2 Torr ）であった。また、反応室11内に設置された基板加熱部15により、半導体集積回路が形成されたシリコン基板14を 400°C に加熱した。

【0024】その後、バルブ25、23を開き、圧力送出ガス（He）4により有機モノマータンク17より、有機モノマー配管36a、36b、36cを介して液体流量指示器5にDVS-BCBモノマーを供給した。ここで、DVS-BCBモノマーの供給速度を精密に制御しながら、気化制御器6に送る。Heキャリアガス流量 500 sccm 、気化温度 150°C の気化条件より、DVS-BCBモノマーの供給速度は 0.03 g/分 とした。この段階では、気化制御器内のダイアフラムバルブ6aは“閉”とする。その後、気化制御器6内のダイアフラムバルブ6aを開き、DVS-BCBモノマーの気化を行う。気化されたDVS-BCBモノマーはHeキャリアガスとともに、反応室11内のシャワーヘッド18で分散された後、シリコン基板14上に吹き付けられる。DVS-BCBモノマーを用いた場合の基板加熱温

度は 350°C 以上が好ましく、より好ましくは 400°C 以上である。この際、基板加熱部15とシャワーヘッド18を電極とし、シャワーヘッド18にプラズマ発生高周波パワーを印加して、基板加熱部15とシャワーヘッド18間にプラズマを生成する。プラズマ発生高周波パワーの周波数を 13.56 MHz とした。この 13.56 MHz に 400 kHz の高周波を重畳してもよい。プラズマの持つエネルギーにより、気相でのベンゾシクロブテン中の炭素四員環の開環反応が促進され、 400°C に加熱された基板表面上では、開環したDVS-BCBモノマーの重合反応を生じてDVS-BCB高分子膜である有機絶縁膜13が形成される。

【0025】プラズマ発生高周波パワーを増大させることでさらに反応が促進され、成膜速度が増大するが、 0.2 W/cm^2 以上のプラズマ発生高周波パワーを印加すると、DVS-BCBモノマーそのものが分解を開始してしまうため、プラズマ発生高周波パワーには最適な範囲が存在する。プラズマの生成により反応が促進された結果、モノマーの吸着効率が 25% となった場合、8インチ基板上に $1\mu\text{m}$ のDVS-BCB膜を成長させるには、約 0.12 g のDVS-BCBモノマーの供給が必要である。従って、液体流量指示器5より流速 0.03 g/分 のDVS-BCBモノマーを4分間供給する。この際、排気配管40には未重合のDVS-BCBモノマーが含まれているが、水冷により 20°C 程度に冷やされた冷却トラップ16にてDVS-BCBモノマーが再液化され、排気ポンプ10に入り込まない。所定量のDVS-BCBモノマーを気化させた後、気化制御器内のダイアフラムバルブ6aを閉じた。その後、バルブ28を閉じてHeキャリアガス2の供給を停止し、反応室内のシリコン基板14を取り出す。

【0026】図2～図4に、基板温度の異なるプラズマ重合DVS-BCB膜の昇温脱離ガス分析（Temperature Desorption Spectrometry、以下、TDSと記す）スペクトルを示す。横軸は加熱温度、縦軸は計測信号強度である。成膜時の圧力は 440 Pa （ 3.3 Torr ）、投入プラズマ発生高周波パワーは 50 W （ 0.1 W/cm^2 ）である。TDSスペクトルの信号強度は計測試料サイズと膜厚に依存するため、質量数15によって信号強度を規格化し、各試料間での信号強度を比較した。ここでは特に質量数2（ H_2 ）、15（ CH_3 ）、18（ H_2O ）、28（ C_4H_4 、Si、CO）、39（ C_3H_3 ）、51（ C_4H_3 ）についてのスペクトルのみを示す。図2（a）に示すように、成膜温度 $T_s=300^{\circ}\text{C}$ では加熱温度 150°C 付近において、質量数15、39、51のスペクトルが検出され、膜からの脱ガスが存在していることが分かる。ここで、成膜温度 T_s とは基板温度のことであり、実際には基板加熱部15にて計測される温度である。

【0027】成膜温度 T_s を 300°C から、 $T_s=35$

0℃、375℃、400℃と高くすると、図2(b)、図3(c)、図3(d)に示されるように、図2(a)に見られた加熱温度150℃付近の質量数15、39、51の脱ガスは生じなくなる。より具体的には、成膜温度を350℃以上とすることで、加熱温度150℃付近の脱ガス量を1000分の1未満にすることができる。よって、成膜温度を350℃以上とすることにより、低温での脱ガス量が減少し、耐熱性が向上されることが分かる。また、成膜温度が高くなるほど質量数2、15、28、39、51の各スペクトルの脱ガス開始温度が高温側へシフトし、やはり耐熱性が向上していることが分かる。また例えば加熱温度450℃における質量数51の脱離ガス量は、成膜温度が350℃から400℃になると100分の1未満になる。同様に、加熱温度400℃における質量数39の脱離ガス量は、成膜温度300℃から400℃になると100分の1未満になる。

【0028】さらに、加熱温度200-300℃付近で水と予想されるスペクトル(質量数18)が検出される。図2(a)に示されたようにTs=300℃では、質量数18のスペクトルは250℃付近にピークを示すが、Ts=350℃においては加熱温度290℃付近にそのピークがシフトする。Ts=375℃においては200-300℃にかけてのブロードなピークとなりTs=400℃ではピーク強度が著しく減少している。基板温度が高くなることによって、膜堆積過程において膜中に取り込まれる水分量の減少や、膜の吸湿性の低下が進んだものと考えられる。同様な傾向がTs=450℃においても得られている(図4(e)参照)。以上のことから、好ましい成膜温度は350℃以上であり、より好ましくは375℃以上、最適の成膜温度は400℃以上であることが分かる。なお、プラズマ発生高周波パワーを印加しない場合、基板温度が350℃以上となるとDVS-BCB膜の成長速度は非常に遅くなり、実用性に問題があった。

【0029】このように、有機モノマーに0.1W/cm²程度の低パワープラズマを印加して、気相中で一部有機モノマーを重合させて高分子化させることで、350℃以上に加熱された基板上に有機高分子膜の成長が実用的に可能となり、高い耐熱性を有する高分子膜を効率よく形成することができた。特に、成膜温度を400℃とすることで耐熱性400℃以上と非常に熱安定性の高い膜が得られた。

【0030】図5、図6は、基板温度400℃において、成膜圧力とプラズマ発生高周波パワーを変えて成膜した膜のTDSスペクトルを示す図である。基板温度400℃において、図5(a)は成膜圧力400Pa(3.0Torr)、プラズマ発生高周波パワー50W、図5(b)は成膜圧力400Pa(3.0Torr)、プラズマ発生高周波パワー75W、図6(c)は成膜圧力440Pa(3.3Torr)、プラズマ発生

高周波パワー50W、図6(d)は成膜圧力440Pa(3.3Torr)、プラズマ発生高周波パワー75W、である。いずれの成膜条件下においてもほぼ同一のTDSスペクトルを示し、基板温度を400℃とすることで同様の耐熱性が得られることが分かった。

【0031】図7は本発明による高分子膜製造方法によって得られた膜の赤外吸収スペクトルを示す図である。基板温度はいずれも400℃で、投入プラズマ発生高周波パワーは50Wと75W、成膜時の圧力は400Pa(3.0Torr)および440Pa(3.3Torr)である。いずれの成膜条件においてもモノマー構造に起因する1470、1194cm⁻¹(ベンゾシクロブテン基)および985cm⁻¹(ビニル基)にピークは観測されず、得られた膜中にモノマー構造は残存していない。逆に重合反応によって生じるテトラヒドロナフタレンに起因する1498cm⁻¹のピークがいずれの成膜条件においても観測されており、基板温度400℃成膜においてBCBポリマーが得られていることが分かる。図8は、基板温度をさらに450℃まで上げて得られたBCBポリマー膜の赤外吸収スペクトルである。ここでは、プラズマ発生高周波パワーは0.1W/cm²、成膜圧力は440Pa(3.3Torr)である。いずれの場合もDVS-BCBポリマー膜に特徴的な吸収ピークが認められている。このように、基板温度を400℃以上とし、0.1W/cm²以下の低パワープラズマを印加して有機モノマーを分解させることなくその一部を重合化させることで、400℃の耐熱性を持ったBCBポリマーを容易に成長させることができる。

【0032】[実施例2] 図9は本発明による高分子膜製造方法によって得られた膜の基板温度400℃におけるBCB膜の比誘電率(ε)を示す。いずれのプラズマ発生高周波パワーにおいても、高圧力ほど比誘電率が高くなることが分かる。物質の誘電率は電子分極、イオン分極および配向分極の各分極成分から成る。各成膜条件下において図7、図8に示したようにFT-IR(Fourier transform infrared absorption spectroscopy: フーリエ変換赤外分光)測定結果と耐熱性に大きな変化がないため、膜構造や化学組成に大きな違いがないと認められることから、膜密度が増加したことによって比誘電率が高くなったものと考えられる。さらには、TOF-SIMS(Time of Flight-Secondary Ion Mass Spectrometry)による分析では、400Pa(3.0Torr)で形成したDVS-BCBポリマー膜に含まれているテトラヒドロナフタレン基が440Pa(3.3Torr)で形成したDVS-BCBポリマー膜においてはナフタレン基に変化している傾向が見られることから、このような部分的化学構造の変化が比誘電率の変化に影響しているものと考えられる。事実、400Pa(3.0Torr)で形成したDVS-BCBポリマー膜のCMP速度は研磨圧力1.96N/cm²(0.2kg/cm²)

cm²)で100nm/min程度あったのに対して、440Pa(3.3Torr)で形成したポリマー膜では20nm/min以下と機械的強度に優れた性質を有していた。さらに、400Pa(3.0Torr)で成膜したDVS-BCBポリマー膜にTa₂N_{0.1}バリア膜を成長させ、1mm角にスライスした後接着テープによる剥離テストを行ったところ25%に密着不良が認められた。一方、440Pa(3.3Torr)で形成したDVS-BCBポリマー膜の場合、密着不良は認められなかった。

【0033】この物理現象を利用することで、性質の異なるDVS-BCB積層膜を容易に得ることができる。具体的には、基板温度を350℃以上、例えば400℃、プラズマ発生高周波パワーを75W(0.15W/cm²)として、成膜初期において成膜圧力を400Pa(3.0Torr)として所定厚さの第1のプラズマ重合膜(ここでは、DVS-BCBポリマー膜)を成長させ、その後圧力を440Pa(3.3Torr)にまで上昇させて第2のプラズマ重合膜を成長させる。このように、成長圧力を変化させることで、相対的に低誘電率の第1のプラズマ重合膜上に、緻密で機械的強度に富む第2のプラズマ重合膜が積層された構造を容易に形成することができる。この場合、第1および第2のプラズマ重合膜は共に、DVS-BCBポリマーで化学組成は同じで、その密度と比誘電率が異なるのである。このように、本発明によれば、異なる物理的・機械的特性を有する高分子膜を、DVS-BCBモノマーを気化させる気化器1台備えるのみで成膜することが可能となり、装置コストを増加させることなく2つの特長(低誘電率と機械的強度)を兼ね備えた高分子膜の形成が可能となる。

【0034】図10は、このようなDVS-BCBポリマー積層膜に銅ダマシン配線を形成した場合の断面模式図である。この多層配線は以下のようにして形成された。酸化シリコンを主体とする第1層間絶縁膜51上に、基板温度を400℃とし、プラズマ発生高周波パワーを75W(0.15W/cm²)と一定として、成膜圧力400Pa(3.0Torr)にて300nm厚のプラズマ重合DVS-BCBポリマー膜を第1の低誘電率膜52aとして成長させた後、チャンバー内圧力を440Pa(3.3Torr)と上昇させて第2の低誘電率膜52aとして同じく200nm厚のプラズマ重合DVS-BCBポリマー膜を成長させて、第1配線間絶縁膜52を形成した。その後、ドライエッチングにより第1層間絶縁膜に埋設された導電性プラグ(図示なし)に到達する配線溝を開設し、高周波スパッタ法でTa₂N_{0.1}/Ta₂N(20nm厚/20nm厚)の積層膜を堆積して第1バリア膜53aを形成した後、700nm厚の銅膜をMOCVD法により成長させた。N₂中400℃でアニールを行った後、シリカ粒子を分散させたスラ

リーを用いて、研磨圧1.96N/cm²(0.2kg/cm²)にてCMPを行って第1配線間絶縁膜52上の銅膜およびバリア膜を除去して第1銅ダマシン配線53を形成した。

【0035】次に、第2層間絶縁膜54として、膜厚500nmのシリコン酸化膜をCVD法にて堆積し、この第2層間絶縁膜に第1銅ダマシン配線53の表面を露出させるビアホールを開孔した後、Ta₂N_{0.1}/Ta₂N(20nm厚/20nm厚)の積層膜からなる50nm厚の第2バリア膜55aと700nm厚の銅膜を堆積した。次に、CMPにより第2層間絶縁膜54上の銅膜およびバリア膜を除去して銅ビアプラグ55を形成した。その後、上記した方法と同様の方法により、第1の低誘電率膜56aと第2の低誘電率膜56bからなる第2配線間絶縁膜56を成膜し、この第2配線間絶縁膜56に配線溝を開設した後、第3バリア膜57aと銅膜を堆積した。そして、CMPにより第2配線間絶縁膜56上のバリア膜と銅膜を除去して第2銅ダマシン配線57を形成した。このようにして作製した多層配線において、配線間容量から求めたDVS-BCB積層膜の比誘電率は2.57であった。これは、第1のプラズマ重合膜の比誘電率(2.51)と第2のプラズマ重合膜の比誘電率(2.68)の膜厚加重平均値とほぼ一致する値である。なお、上層に位置する緻密な第2のプラズマ重合膜の存在により、CMP後のDVS-BCB積層膜の膜減り量は30nm程度に抑制されていた。

【0036】[実施例3] 実施例3においては、図11に示されたクラスタ型装置を用いて、プラズマ重合DVS-BCB積層膜に引き続いて、その上に真空を破ることなく無機絶縁膜を成膜し、これをエッチング工程におけるハードマスクとして利用する。また、CMP工程におけるストッパーとして利用する。図11は、本実施例において用いられるクラスタ型装置の構成を示す概略平面図である。本装置は、真空中で各チャンバー間のウェハ搬送を行う真空ロボット72を備えたセンターチャンバー73を中心として、ゲートバルブA76、ゲートバルブB77、ゲートバルブC78、ゲートバルブD79により仕切られた、複数の成膜リアクタ(ここではプラズマ重合成膜リアクタ70と無機絶縁膜成膜リアクタ71の2リアクタ)、ウェハロードロックチャンバーA74およびウェハロードロックチャンバーB75から構成される。なお、ウェハロードロックチャンバーは1つでもよい。また、ロードロックチャンバーへ大気中でウェハを搬送する大気ロボットを備えていてもよい。ここで、センターチャンバー73と成膜リアクタ70、71は真空引きされている。

【0037】まず、大気ロボット(図示なし)によりロードロックチャンバーA74に、ウェハが搬入される。ロードロックチャンバーA74が真空に引かれた後、該チャンバー内に置かれたウェハは、センターチャンバー

73にある真空ロボット72によりゲートバルブA76を介してセンターチャンバーに搬送され、さらにゲートバルブB77を介して、プラズマ重合成膜リアクタ70に搬送される。ゲートバルブBを閉じた後、プラズマ重合成膜リアクタに於いては、前記実施例1または実施例2に示した方法により、ウェハ上にプラズマ重合膜が形成される。ここでプラズマ重合膜を成膜する際の基板温度は、後の絶縁膜形成リアクタにおいて絶縁膜を成膜する際の基板温度以上とする。リアクタを不活性ガスによりパージし引き続き真空引きした後、ゲートバルブBを開き、プラズマ重合膜が形成されたウェハを真空ロボット72によりプラズマ重合成膜リアクタ70からセンターチャンバー73に取り出し、ゲートバルブB77を閉じる。

【0038】引き続きゲートバルブC78を開き、真空ロボット72により無機絶縁膜成膜リアクタ71へウェハを搬送する。ゲートバルブC78を閉じた後、無機絶縁膜成膜リアクタにおいて、絶縁膜、ここではシリコン酸化膜を成膜する。先に述べたように、無機絶縁膜成膜リアクタにおける絶縁膜の成膜温度はプラズマ重合膜の成膜温度以下とする。ここではプラズマ重合膜を基板温度400℃、シリコン酸化膜も基板温度400℃にて成膜を行った。成膜リアクタを不活性ガスによりパージし引き続き真空引きした後、ゲートバルブC78を開き、プラズマ重合膜上にシリコン酸化膜が形成されたウェハを真空ロボット72により無機絶縁膜成膜リアクタ71からセンターチャンバー73に取り出し、ゲートバルブC78を閉じる。次に、真空ロボット72によりセンターチャンバー73からゲートバルブD79を介して、真空に引かれたロードロックチャンバーB75へウェハが搬送される。この後、ロードロックチャンバーB75を大気圧に戻し、成膜を終了したウェハを大気ロボットにより取り出す。

【0039】ウェハのロードロックチャンバーへの搬入・搬出をウェハカセットごと行うこともできる。この場合、ウェハが装填されたウェハカセットを人手若しくは大気ロボットによりロードロックチャンバーA74に搬入するとともに空のウェハカセットをロードロックチャンバーBに搬入しておく。両ロードロックチャンバーを真空に引いた後、真空ロボット72によりロードロックチャンバーA内のウェハカセットから1枚のウェハを取り出し、成膜リアクタ70、71を経由させて成膜を行う。プラズマ重合膜とシリコン酸化膜が形成されたウェハを真空ロボット72によりロードロックチャンバーB75内のウェハカセットに収容する。以下、同様にしてロードロックチャンバーA74内のウェハカセットに収納されたウェハを1枚ずつ取り出して成膜を行い、成膜の終了したウェハはロードロックチャンバーB75内のウェハカセットに収納する。全てのウェハに対して成膜が行われ、成膜済みの全ウェハがロードロックチャンバ

ーB75内のウェハカセットに収納された後、ロードロックチャンバーB75を大気圧に戻し、人手若しくは大気ロボットにより成膜を終了したウェハをカセットに収納した状態にて取り出す。このウェハカセットを利用する方法によれば、プラズマ重合成膜リアクタ70において成膜を行いつつ、他のウェハについて無機絶縁膜成膜リアクタ71において成膜を行うことができるから、成膜装置の利用効率を向上させ生産性を高めることができる。このウェハカセットを使用しない場合であっても、ロードロックチャンバー内に複数枚のウェハを収容できるようにした場合には、同様に生産性を高めることができる。

【0040】形成すべき配線構造によっては、プラズマ重合膜上にシリコン酸化膜を形成した後、さらにプラズマ重合リアクタへ搬送し直し、シリコン酸化膜上に再度プラズマ重合膜を成膜してもよい。また、上記成膜を何回か繰り返すことも可能である。以上のように、真空中を連続搬送し、プラズマ重合膜と無機絶縁膜を連続成膜することにより、各界面を大気に曝すことなく多層積層絶縁膜を形成することが可能になる。プラズマ重合膜は界面が大気、特に水分や酸素の影響を受けやすく、プラズマ重合膜成膜前後において大気に曝してしまうと界面での膜剥離が発生しやすくなることが分かっている。また、絶縁耐圧の劣化や、誘電率の上昇も懸念される。本実施例に示すように、真空搬送による連続成膜を行えば、膜剥離を防止することができると共に吸湿性や薬液耐性を向上させることができる。

【0041】図12は、図11に示すクラスタ型装置を用いて形成するダマシン構造配線の製造方法を説明するための工程順の断面図である。トランジスタ（図示なし）の形成されたシリコン基板60上に膜厚1μmのシリコン酸化膜からなる第1層間絶縁膜61を形成し、この第1層間絶縁膜61を貫いてトランジスタの拡散層と接触するコンタクトプラグ62を形成する〔図12

(a)〕。次いで、実施例2と同様に、基板温度を400℃とし、プラズマ発生高周波パワーを75W(0.15W/cm²)と一定にし、まず圧力を400Pa(3.0Torr)として、第1の低誘電率膜63aとなる300nm厚のプラズマ重合DVS-BCBポリマー膜を成長させ、続いてチャンバー内圧力を440Pa(3.3Torr)と上昇させて第2の低誘電率膜63bとなる200nm厚のプラズマ重合DVS-BCBポリマー膜を成長させて、配線間絶縁膜63を形成した。そして、真空を破ることなくウェハを無機絶縁膜成膜リアクタ内に装着して、基板温度390℃にてハードマスクを形成するためのシリコン酸化膜64aを50nmの膜厚に堆積した〔図12(b)〕。シリコン酸化膜に代えてシリコン窒化膜を形成するようにしてもよい。

【0042】その後、シリコン酸化膜64a上にフォトリジストをスピン塗布し、露光・現像を行って、形成す

10

20

30

40

50

べき配線パターン状に開口を有するレジスト膜65を形成した〔図12(c)〕。次に、レジスト膜65をマスクとしてシリコン酸化膜64aを選択的にエッチングしてハードマスク64を形成し、引き続きレジスト膜65とハードマスク64をマスクとして配線間絶縁膜63をエッチングして配線溝66を形成した。ここで、エッチングガスには CHF_3 を用いたが、これに代えて CHF_3 と O_2 の混合ガスを用いてもよい。この場合に、エッチング時のラジカル成分の存在によりエッチング形状がテーパー状に成りやすいが、ハードマスク64が存在していることにより、良好な形状の開口を得ることができる。この配線溝66を形成するエッチング工程において、レジスト膜65は同時に除去される〔図12(d)〕。次に、実施例2と同様に、高周波スパッタ法により Ta-N 0.1/ Ta_2N (20nm厚/20nm厚)の積層バリア膜を成長させ、さらに700nm厚の銅膜をMOCVD法により成長させた後、 N_2 中にて400℃のアニールを行い、シリカ粒子を分散させたスラリーを用いて、研磨圧1.96N/cm²(0.2kg/cm²)のCMPによりハードマスク64上の銅膜および積層バリア膜を除去して配線溝66を埋め込む銅ダマシン配線67を形成した。このとき、ハードマスク64は研磨耐性が高いことによりCMPの終了後にも研磨されることなく残される。また、シリコン酸化膜64aが真空を破ることなく形成された膜であり、かつその下地層が機械的強度が高く密着性のよい第2の低誘電率膜63bであることにより、CMP工程中にハードマスク64が剥離されてしまうこともない。

【0043】銅ダマシン配線67を形成した後、クラスタ型装置の無機絶縁膜成膜リアクタにおいて、ハードマスク膜64と銅ダマシン配線67との複合面上に、基板温度を390℃として、50nm厚のシリコン窒化膜からなる配線保護膜68を形成した〔図12(e)〕。続いて、真空を破ることなくプラズマ重合成膜リアクタ内に搬送し、配線間絶縁膜63と同様に、基板温度を400℃として、第1の低誘電率膜69aと第2の低誘電率膜69bとからなる第2層間絶縁膜69を形成した〔図12(f)〕。必要に応じて、第2層間絶縁膜69上に、シリコン酸化膜やシリコン窒化膜などのハードマスク形成材料層を形成してもよい。この後、第2の層間絶縁膜69と配線保護膜68を選択的にエッチングして、銅ダマシン配線67の表面を露出させるビアホールを開孔し、導電性膜の堆積とCMPにより導電性プラグを形成する。以上の工程を繰り返すことにより、高い耐熱性と低い誘電率と高い機械的強度を兼ね備えた高分子膜を用いた多層配線構造を得ることができる。

【0044】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、プラズマ雰囲気中にて成膜温度を350℃以上の高温にして、ベンゾシクロブテン高分子膜を形成するものであるの

で、実用化が可能な成膜速度にて高耐熱性の低誘電率高分子膜を得ることができる。また、成膜の途中においてチャンバー内の圧力を高くする実施例によれば、低誘電率のプラズマ重合高分子膜上に緻密で機械強度および密着性の大きいプラズマ重合高分子膜を容易に積層することができ、低誘電率とCMP耐性とを兼ね備えた配線間・層間絶縁膜を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例において用いられる高分子膜成長装置の概略構成図。

【図2】 本発明による第1の実施例による高分子膜製造方法によって得られたDVS-BCBポリマー膜のTDS(昇温脱離ガス分析)スペクトル図(その1)。

【図3】 本発明による第1の実施例による高分子膜製造方法によって得られたDVS-BCBポリマー膜のTDSスペクトル図(その2)。

【図4】 本発明による第1の実施例による高分子膜製造方法によって得られたDVS-BCBポリマー膜のTDSスペクトル図(その3)。

【図5】 本発明による第1の実施例によって得られたDVS-BCBポリマー膜の、投入RF電力と成膜圧力の変化に伴う膜質の変化を検討するためのTDSスペクトル図(その1)。

【図6】 本発明による第1の実施例によって得られたDVS-BCBポリマー膜の、投入RF電力と成膜圧力の変化に伴う膜質の変化を検討するためのTDSスペクトル図(その2)。

【図7】 本発明による第1の実施例によって得られたDVS-BCBポリマー膜の赤外吸収スペクトル図(その1)。

【図8】 本発明による第1の実施例によって得られたDVS-BCBポリマー膜の赤外吸収スペクトル図(その2)。

【図9】 本発明による第2の実施例によって得られたDVS-BCBポリマー膜の比誘電率と、成膜時の投入RF電力条件/圧力条件との関係を示すグラフ。

【図10】 本発明による第2の実施例の多層配線構造形成過程を説明するための断面図。

【図11】 本発明の第3の実施例において用いられるクラスタ型成膜装置の概略構成図。

【図12】 本発明の第3の実施例の多層配線構造形成過程を示す工程順の断面図。

【図13】 従来の高分子膜成長装置の概略構成図。

【図14】 従来の多層配線構造を示す断面図。

【符号の説明】

1 有機モノマー

1a 気体化有機モノマー

2 キャリアガス

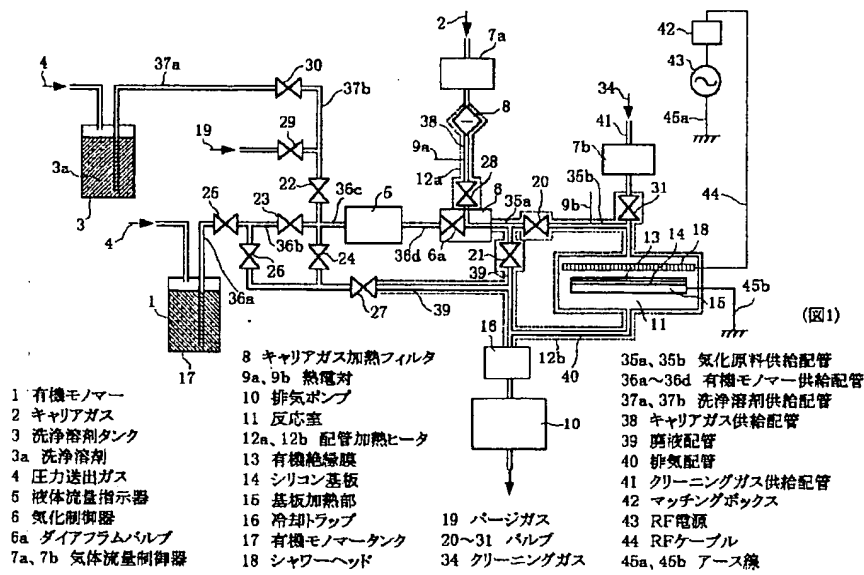
3 洗浄溶剤タンク

3a 洗浄溶剤

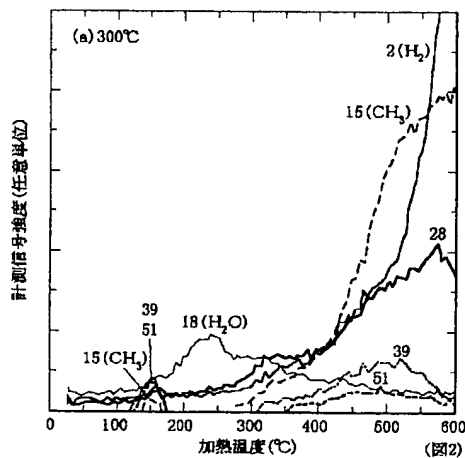
4 圧力送出ガス
 5 液体流量指示器
 6 気化制御器
 6a ダイアフラムバルブ
 7a、7b 気体流量制御器
 8 キャリアガス加熱フィルタ
 9a、9b 熱電対
 10 排気ポンプ
 11 反応室
 12a、12b 配管加熱ヒータ
 13 有機絶縁膜
 14 シリコン基板
 15 基板加熱部
 16 冷却トラップ
 17 有機モノマータンク
 18 シャワーヘッド
 19 パージガス
 20～31 バルブ
 34 クリーニングガス
 35a、35b 気化原料供給配管
 36a～36d 有機モノマー供給配管
 37a、37b 洗浄溶剤供給配管
 38 キャリアガス供給配管
 39 廃液配管
 40 排気配管
 41 クリーニングガス供給配管
 42 マッチングボックス
 43 RF電源
 44 RFケーブル
 45a、45b アース線
 51 第1層間絶縁膜
 52 第1配線間絶縁膜
 52a 第1の低誘電率膜
 52b 第2の低誘電率膜
 53 第1銅ダマシン配線
 53a 第1バリア膜
 54 第2層間絶縁膜
 55 銅ビアプラグ
 55a 第2バリア膜
 56 第2配線間絶縁膜
 56a 第1の低誘電率膜
 56b 第2の低誘電率膜
 57 第2銅ダマシン配線

57a 第3バリア膜
 60 シリコン基板
 61 第1層間絶縁膜
 62 導電性プラグ
 63 配線間絶縁膜
 63a 第1の低誘電率膜
 63b 第2の低誘電率膜
 64 ハードマスク
 64a シリコン酸化膜
 10 65 レジスト膜
 66 配線溝
 67 銅ダマシン配線
 68 配線保護膜
 69 第2層間絶縁膜
 69a 第1の低誘電率膜
 69b 第2の低誘電率膜
 70 プラズマ重合成膜リアクタ
 71 無機絶縁膜成膜リアクタ
 72 真空ロボット
 20 73 センターチャンバー
 74 ロードロックチャンバーA
 75 ロードロックチャンバーB
 76 ゲートバルブA
 77 ゲートバルブB
 78 ゲートバルブC
 79 ゲートバルブD
 80 排気ポンプ
 81 反応室
 82 有機高分子膜
 30 83 半導体基板
 84 基板加熱部
 85 気化器
 86 気化原料配管
 91 第1層間絶縁膜
 92 第1配線間絶縁膜
 93 第1銅ダマシン配線
 93a 第1バリア膜
 94 第2層間絶縁膜
 95 銅ビアプラグ
 40 95a 第2バリア膜
 96 第2配線間絶縁膜
 97 第2銅ダマシン配線
 97a 第3バリア膜

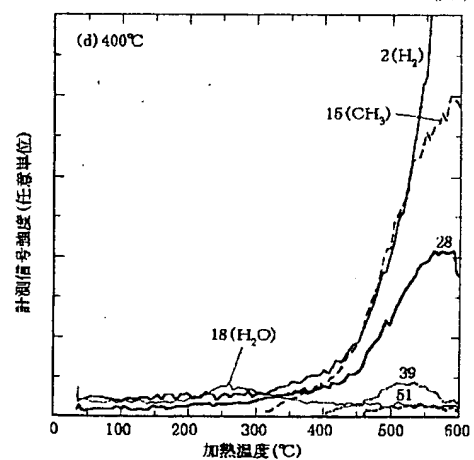
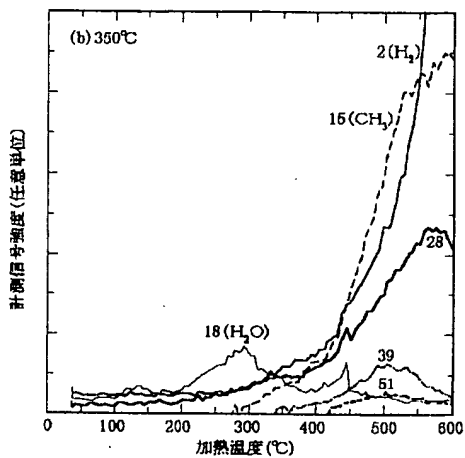
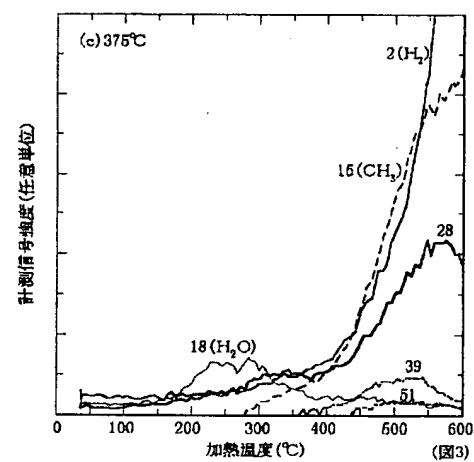
【図1】



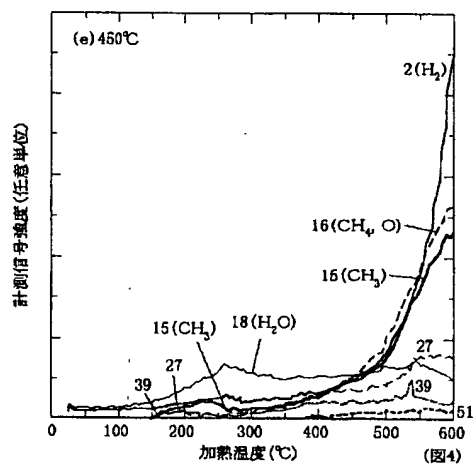
【図2】



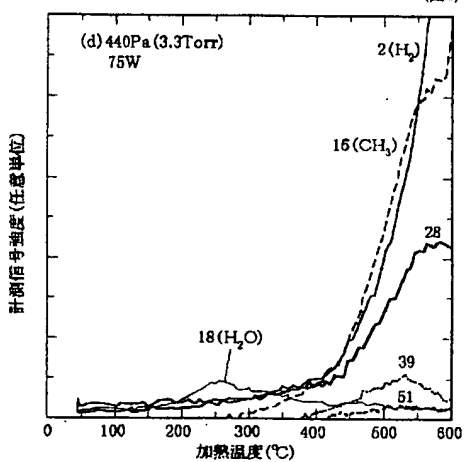
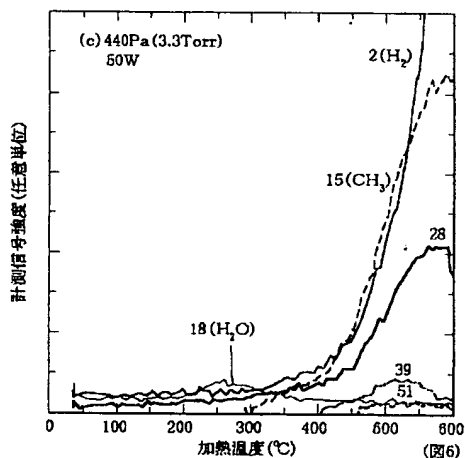
【図3】



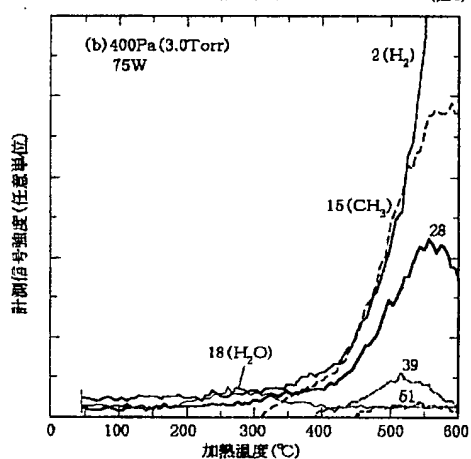
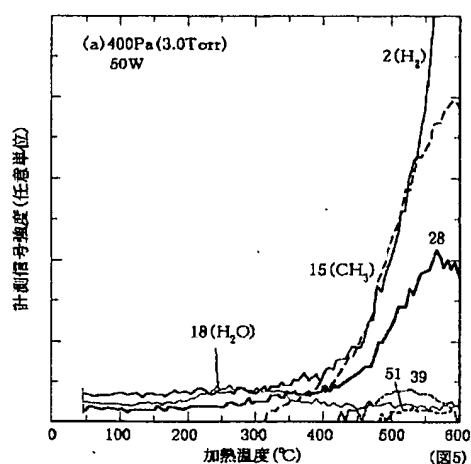
【図4】



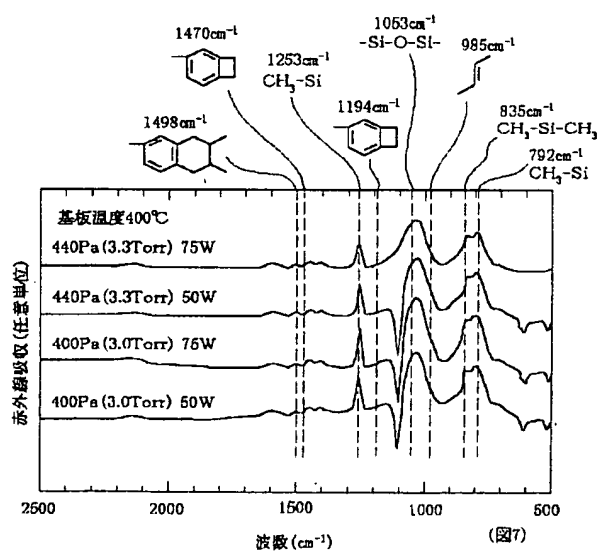
【図6】



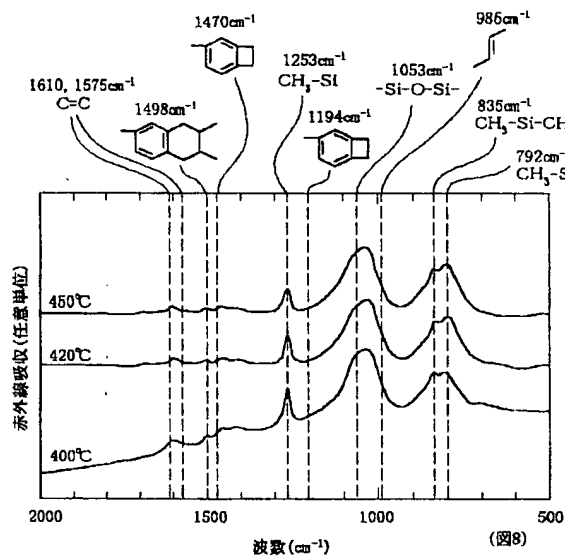
【図5】



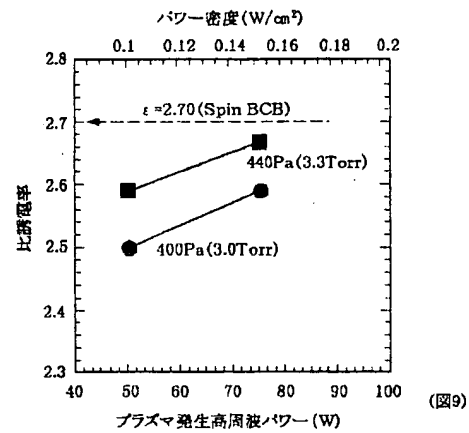
【図7】



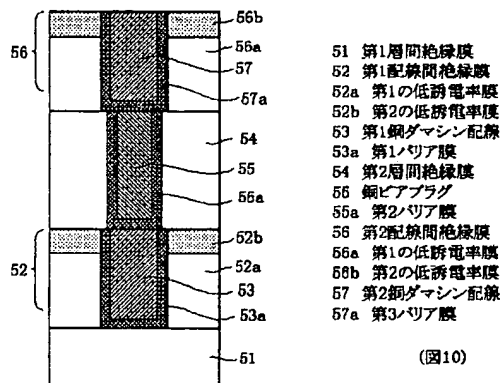
【図8】



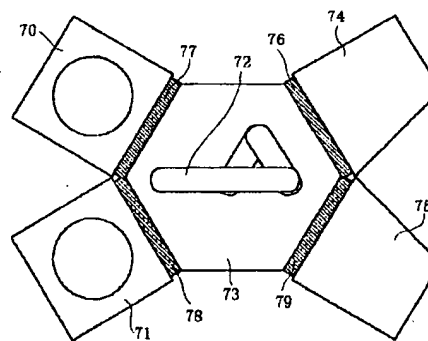
【図9】



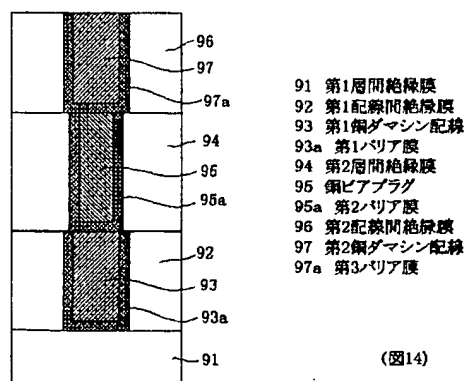
【図10】



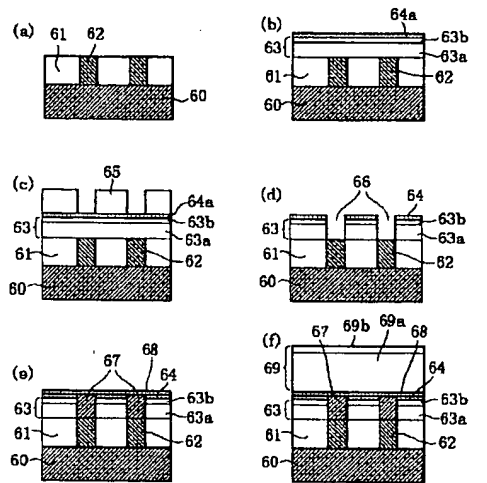
【図11】



【図14】



【図12】

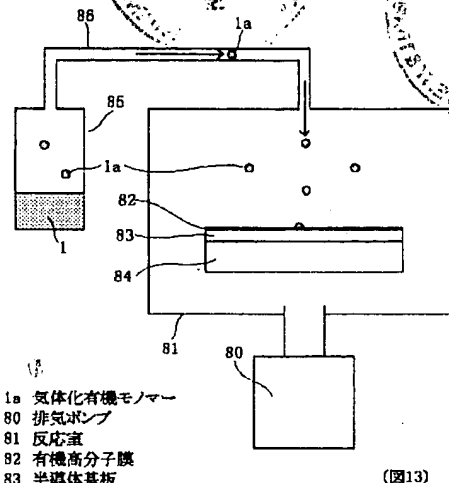


(図12)

60 シリコン基板
61 第1層間絶縁膜
62 導電性プラグ
63 配線間絶縁膜
63a 第1の低誘電率膜
63b 第2の低誘電率膜
64 ハードマスク
64a シリコン酸化膜
65 レジスト膜
66 配線溝
67 銅ダマシン配線
68 配線保護膜

69 第2層間絶縁膜
69a 第1の低誘電率膜
69b 第2の低誘電率膜

【図13】



(図13)

1a 気体化有機モノマー
80 排気ポンプ
81 反応室
82 有機高分子膜
83 半導体基板
84 基板加熱部
85 気化器
86 気化原料配管

フロントページの続き

(72) 発明者 林 喜宏
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

Fターム(参考) 4G075 AA24 AA30 AA32 AA62 BA10
BD14 CA02 CA05 CA25 CA47
CA51
4J032 CA12 CA32 CE14 CE22 CE24
CG00
5F033 HH11 HH32 JJ11 JJ32 KK01
KK11 KK32 MM01 MM12 MM13
NN06 NN07 PP11 PP15 QQ09
QQ37 QQ48 QQ98 RR04 RR21
SS11 SS15 TT04 WW03 WW07
XX12 XX24
5F058 AA04 AA08 AA10 AC10 AF02
AH01 AH02 BF39 BG01 BG02
BG03 BH20